

德基水庫水質優養等級之研究

A study on the Eutrophication Status of Tecchi Reservoir

*
王漢泉

* *
陳思清

壹、前言

優養化定義係指湖泊常隨時間之變化而老化，亦即湖泊會緩慢而不斷地累積營養鹽及泥沙，繼而變成沼澤，最後形成陸地。USEPA (1985) 指出湖泊之老化在自然演變過程下，至少需數佰年時間。但若受人類各種活動，例如清潔劑、肥料等之使用，家庭及工業廢水之排入，以及建築工程、農業活動及採礦等均會加速湖泊優養化過程，這種非自然演變之優養化過程稱為文明優養化 (Cultural Eutrophication)。文明優養化對水庫造成之影響包括：

- 一. 水面形成大量綠或紅色藻類浮渣，妨礙水庫美觀，造成缺氧，此外水生植物死後之分解產生異味。
- 二. 水庫淤積變淺因而減少水庫壽命。
- 三. 魚類因缺氧死亡。
- 四. 由於藻類繁殖旺盛而使自來水產生怪味。

德基水庫位於水力資源豐富之大甲溪，於民國58年興建，63年完成。由於水庫集水區之標高多在1,400公尺以上，又因氣候及土質均適於栽植具高經濟價值之溫帶果樹及蔬菜，在利之所趨下，造成集水區土地超限利用及非法濫墾情形非常嚴重，不但造成水土流失，淤積水庫，縮短水庫壽命，同時水庫受果園施肥及噴灑農藥等影響，水質日趨惡化，赤潮現象存在多年。由於德基水庫係以發電為主要之功能，台灣電力公司為及早籌謀，自民國72年2月起特與水資會合作辦理大甲溪流域水質長期監視計畫，本報告即係將民國72年至78年計7年之水質及藻類資料加以分析，除評估水質優養等級外，並將水庫優勢藻種中之甲藻與水質關係作迴歸分析，找出造成赤潮的可能原因。

貳、調查範圍及方法

一. 調查範圍。

*王漢泉：經濟部水資會專員

** 陳思清：經濟部水資會工務員

德基水庫為一狹長水庫；迴水長度14公里由於水庫上下游生態環境並不相同，故將水庫按上下游，並依據水庫管理單位斷面編號，選擇具代表性之6、18、28、39等斷面作為測站，其中第六斷面測站係靠近壩址，39斷面測站則臨上游梨山附近。各採樣位置如圖1。

二. 水質優養等級評估方法

水質優養等級評估方法可分為理化水質評估與藻類群落變異指數等二法，理化水質評估又分單一變數法與多變數法評估。由於水庫優養與理化水質及藻類相變化均有關，因此作者特將二者結合創立一種新評估方法稱為王氏綜合評估指數法。各種評估方法分述如後。

1. 理化水質評估

國內對水庫優養等級評估等級評估方法目前多係根據作者民國76年在美研習水庫水質優養化所引進之單一變數法及多變數法（王漢泉，1987）

(1) 單一變數法

單一變數法係採用美國環境保護署（1979）所使用以葉綠素 a，總磷及透明度為評估參數，並分別訂定濃度標準，將水質分為貧營養（oligotrophic）中營養（Mesotrophic）與優養（Eutrophic）等三種等級（表1）。

(2) 多變數法

a. 卡爾森 (carlson) 指數法

此法是由卡爾森（1977）所創立的，使用透明度（Seechi disk transparency）葉綠素a (chlorophyll a) 及總磷 (Total phosphorus) 等三種參數分別求出一個指數，再求三種指數之平均值即為優養等級指數。運算方法及指數所代表之等級如表1及表3。

b. 北卡羅林那州 (North Carolina) 指數法

此法係由北卡州政府環保部門創立，並應用在北卡州內水庫 (Weiss et al, 1985) 評估方法係使用四種參數，分別為總磷、總有機氮 (total organic nitrogen)、透明度、葉綠素 a、運算過程亦是先求各參數之指數，再將各指數之值相加所得之和即為優養等級判斷之依據。此法與前述方法之最大不同處係將評估結果分為6等級，且增加總有機氮作參數。表1-3 即為此法之運算公式及優養之等級。

2. 藻類群落變異指數法 (Algal Community diversity Index)

群落變異指數係由Information theory (Brillouin, 1960) 演變而來，其計算方法如表3。此法主要是根據藻種及其數量之多寡判斷水質好壞。一般而言，水質優良的水域，藻種多，但每一藻種之數量少、相反的、水質差的水域、藻種少、但每一藻種的數量則又特別多。

表1. 各種水質優養等級評估方法等級判斷表

評估等級	EPA 多變數法			多變數法	藻類群落變異指數	藻類群落變異指數
	氮營養 a	總磷	透明度	卡爾森 (Carlson)		
貧營養 (Oligotrophic)	< 7	< 10	> 3.7	< 40	≥ 3	< 2.5
中營養 (Mesotrophic)	7 -- 12	10 -- 20	2.0 -- 3.7	40 -- 50	1 -- 2.99	2.5 ≤ I < 3.5
優養 (Eutrophic)	> 12	> 20	< 2.0	> 50	< 1	≥ 3.5
單位	μg / l	μg / l	m	TSI	DI	WI

表2. 北卡羅林那州多變數指數法

優養分類	優養等級	TSI
Group 1	貧營養 (Oligotrophic)	≤ - 3.0
Group 2	介於貧營養與中營養 (Oligo-Mesotrophic)	- 3.0 < TSI < - 1.5
Group 3	中營養 (Mesotrophic)	- 1.5 ≤ TSI < 0.5
Group 4	α - 優養 (α - Eutrophic)	0.5 ≤ TSI < 2.5
Group 5	β - 優養 (β - Eutrophic)	2.5 ≤ TSI < 5.0
Group 6	超優養 (Hypertrophic)	≥ 5.0

表6. 多變數指數法與藻類群落變異指數法評估水質等級之指數間相關係數值比較

	Carlson TSI								Algal DI							
	72	73	74	75	76	77	78	TOTAL	72	73	74	75	76	77	78	TOTAL
NC TSI	0.49	0.98	0.98	0.99	0.99	0.95	0.35	0.74	0.45	0.47	0.44	0.81	0.36	0.55	0.41	0.47
Carlson TSI									0.44	0.62	0.45	0.83	0.40	0.60	0.18	0.34

表3. 多變數水質評估法與藻類群落變異指數之評估公式

評估方法	Formula	Unit
Carlson TSI	$TSI (1) = 60 - 14.41 \ln SD$	μ
	$TSI (2) = 9.81 \ln CHA + 30.6$	ppb
	$TSI (3) = 14.42 \ln TP + 4.15$	ppb
	$TSI = \frac{TSI (1) + TSI (2) + TSI (3)}{3}$	
N.C. TSI	$TON = \frac{\log (TON) + (0.45)}{0.24} \times 0.92$	ppm
	$TP = \frac{\log (TP) + (1.55)}{0.35} \times 0.92$	ppm
	$SD = \frac{\log (SD) - (1.73)}{0.35} \times -0.82$	μ
	$CHA = \frac{\log (CHA) - (1.00)}{0.43} \times 0.83$	ppb
	$TSI = TON \text{ Score} + TP \text{ Score} + SD \text{ Score} + CHA \text{ Score}$	
Algal DI	$d = - \left(\sum \frac{N_i}{N} \log_2 \frac{N_i}{N} \right)$	N : Total algal number Ni : Each algal species number

表4. 王氏綜合評估水質指數法 (WI)

評估方法 等級 點數	Carlson TSI & Algal DI			N.C. TSI						綜合評估指數 (WI)		
	Oligotrophic	Mesotrophic	Eutrophic	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4	Group 5	Group 6	Oligotrophic	Mesotrophic	Eutrophic
Point	2	3	4	1	2	3	4	5	6	<2.5	2.5 ≤ WI < 3.5	≥ 3.5

$WI = (Carlson \text{ Point} + Algal \text{ Point} + NC \text{ Point}) \div 3$

表5. 各種水質評估指數迴歸分析相關係數表

	ALGAL DI	NC TSI	CHL-A	TP	SD
CARLSON TSI	0.340	0.742	0.690	0.783	0.436
ALGAL DI		0.468	0.311	0.018	0.129
NC TSI			0.470	0.530	0.396
CHL-A				0.817	0.194
TP					0.222

3. 王氏綜合評估法 (Wang's Comprehensive Ranking Index)

由於理化水質評估結果本身及其與藻類群落指數評估優養等級不盡相同,且目前並無一種結合兩者間之評估方法,因此作者王漢泉首創綜合評估指數法。評估方法(表4)是先將北卡多變數指數法、卡爾森多變數指數法與藻類群落變異指數法等三種方法評估之結果依優養等級分別給予指定點數,點數之分配主要係以北卡優養等級Group 1-6為基礎,再將卡爾森及藻類評估等級配合北卡等級,並將三種方法之權重當做1之情形,再將3種方法所得之點數相加之和求平均值,即為王氏綜合評估指數,根據此指數即可求得優養等級。3種方法遇有缺項時則以二種評估方法點數之平均值作為評估。

三.迴歸分析

1.各水質評估方法間之迴歸分析

為瞭解各種評估方法之相關性,利用統計學上之迴歸分析分別求取單一變數評估法間、及多變數法間,以及藻類群落變異指數相互之間之相關係數,其中多變數法與藻類群落變異指數及王氏綜合評估指數之間並作逐年迴歸分析。

2.甲藻與水質參數之迴歸分析

為瞭解水庫優勢種甲藻與水質參數間之相關性、利用迴歸分析、分別求取甲藻與水位標高、水量、溶氧、PH、電導度、硝酸氮、總有機氮、總磷、磷酸鹽、透明度、葉綠素a、鈣以及水溫間之相關性。

參.水質優養等級評估結果

圖2-4顯示單一變數法評估水質結果,常有不一致情形,甚至偏離真正水質情形,此外圖4亦可看出透明度評估水質較佳,但以葉綠素a評估則較差(圖2)。多變數法雖係以3或4種參數加以評估,可以減少誤差,但是多變數法與藻類群落變異指數之評估結果仍有不一致情形(圖5-7),由於水質優養化與水中藻類關係密切,必須結合理化水質參數及生物參數才能反應真正水質,王氏綜合評估指數法即為結合理化水質與生物相之評估方法,並將三法之權重均衡兼顧之評估方法。德基水庫各年之綜合評估結果如圖8並分述如下:

一.民國72年

圖8顯示4.5.6.7等4個月上下游各斷面皆為優養等級,2.3.8.9.10.11等6個月上游斷面皆為優養等級,第6斷面在3.10.11.12等月份水質最好,屬貧營養等級。18斷面在12月亦屬貧營養等級。18斷面在2.9.10.11等月份屬中營養等級。28及39斷面除12及3月為中營養等級外,其餘時間皆為優等級。

二.民國73年

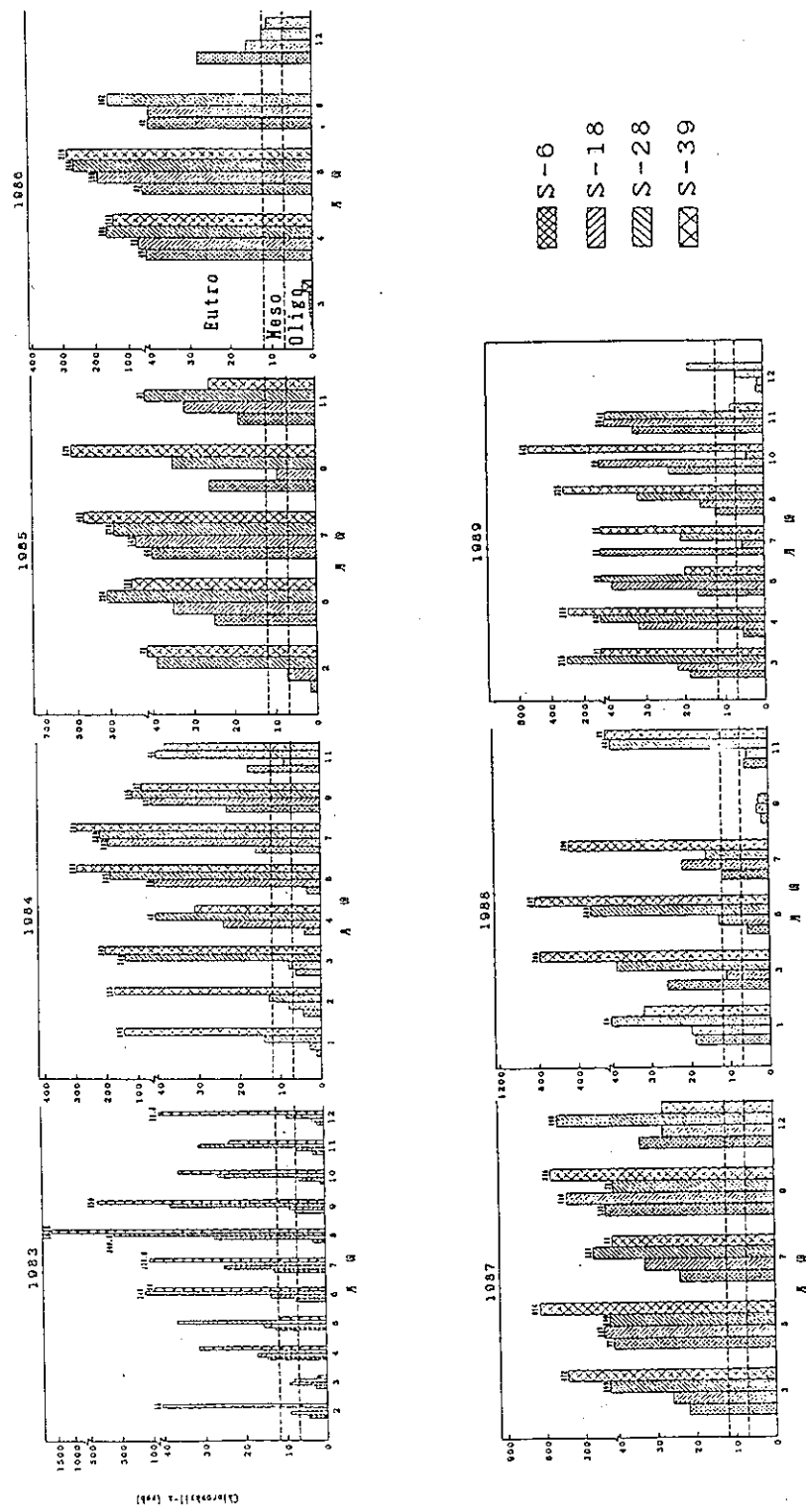


圖2. 德基水庫民國72年至78年葉綠素a濃度時空變化及營養等級判斷

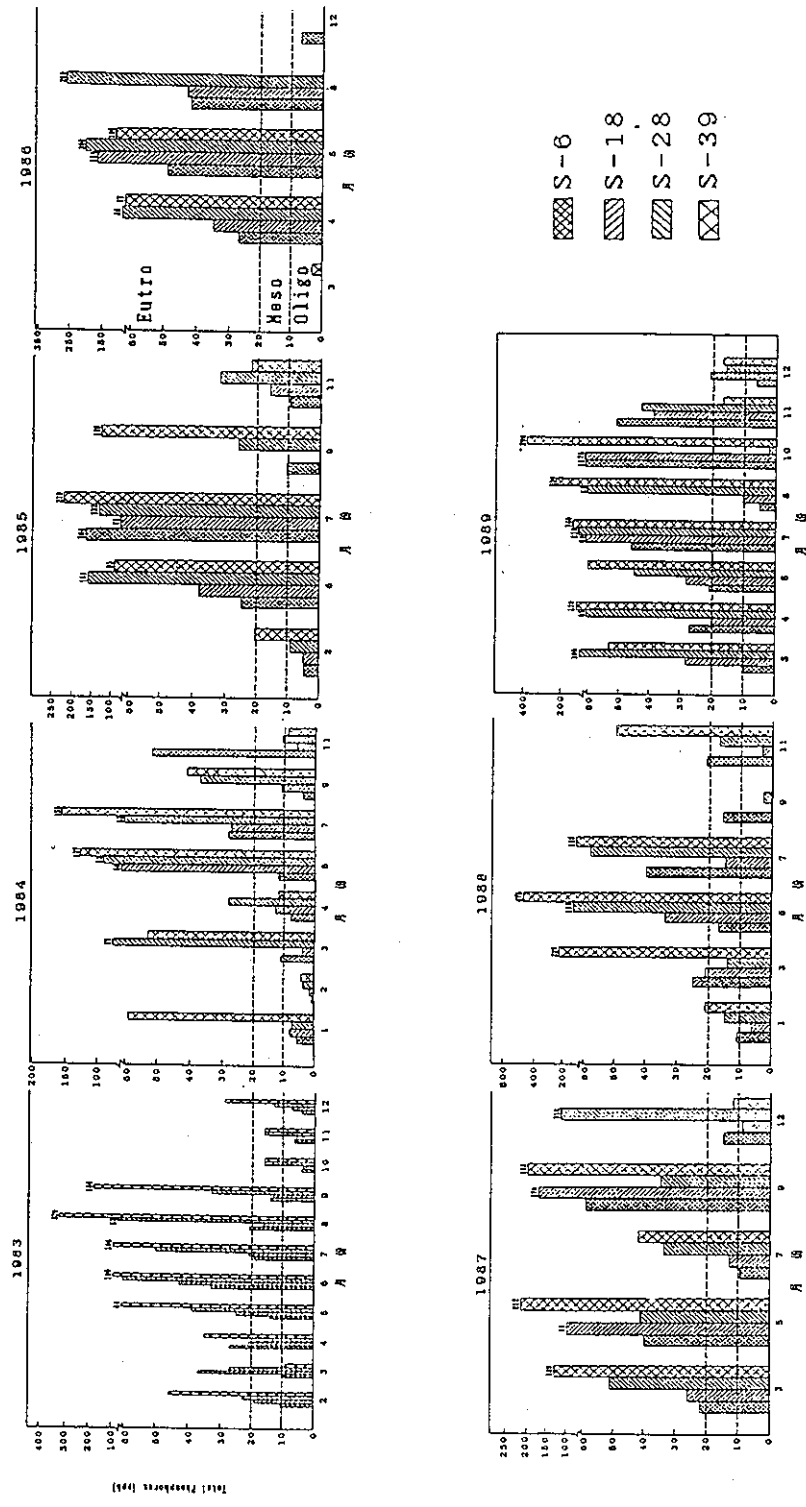


圖3. 德基水庫民國72年至78年總磷濃度時空變化及優養等級判斷

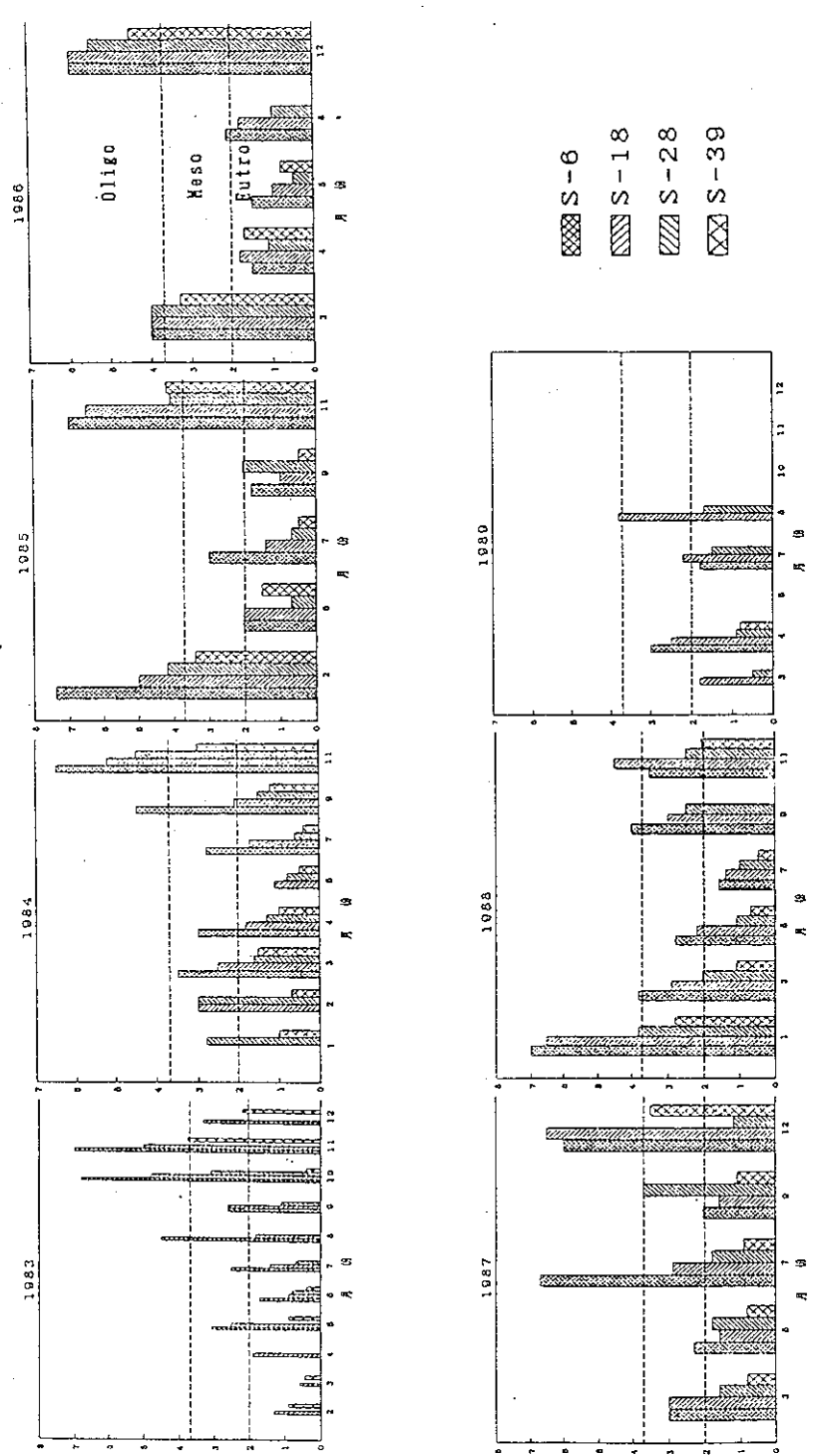


圖4. 德基水庫民國72年至78年透明度時空變化及優養等級判斷

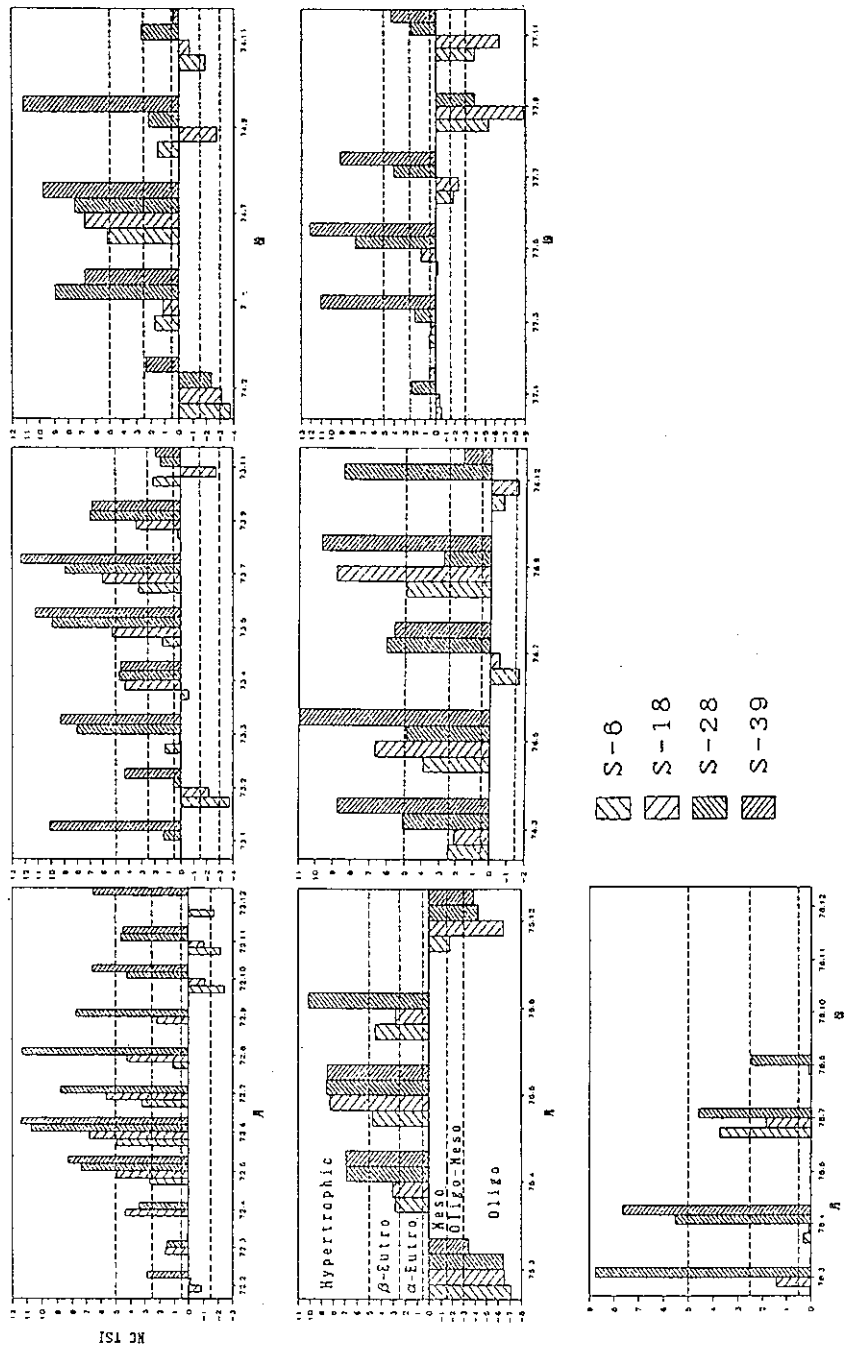


圖5. 北卡羅林那州指數法評估水庫民國72年至78年水質等級時空變化圖

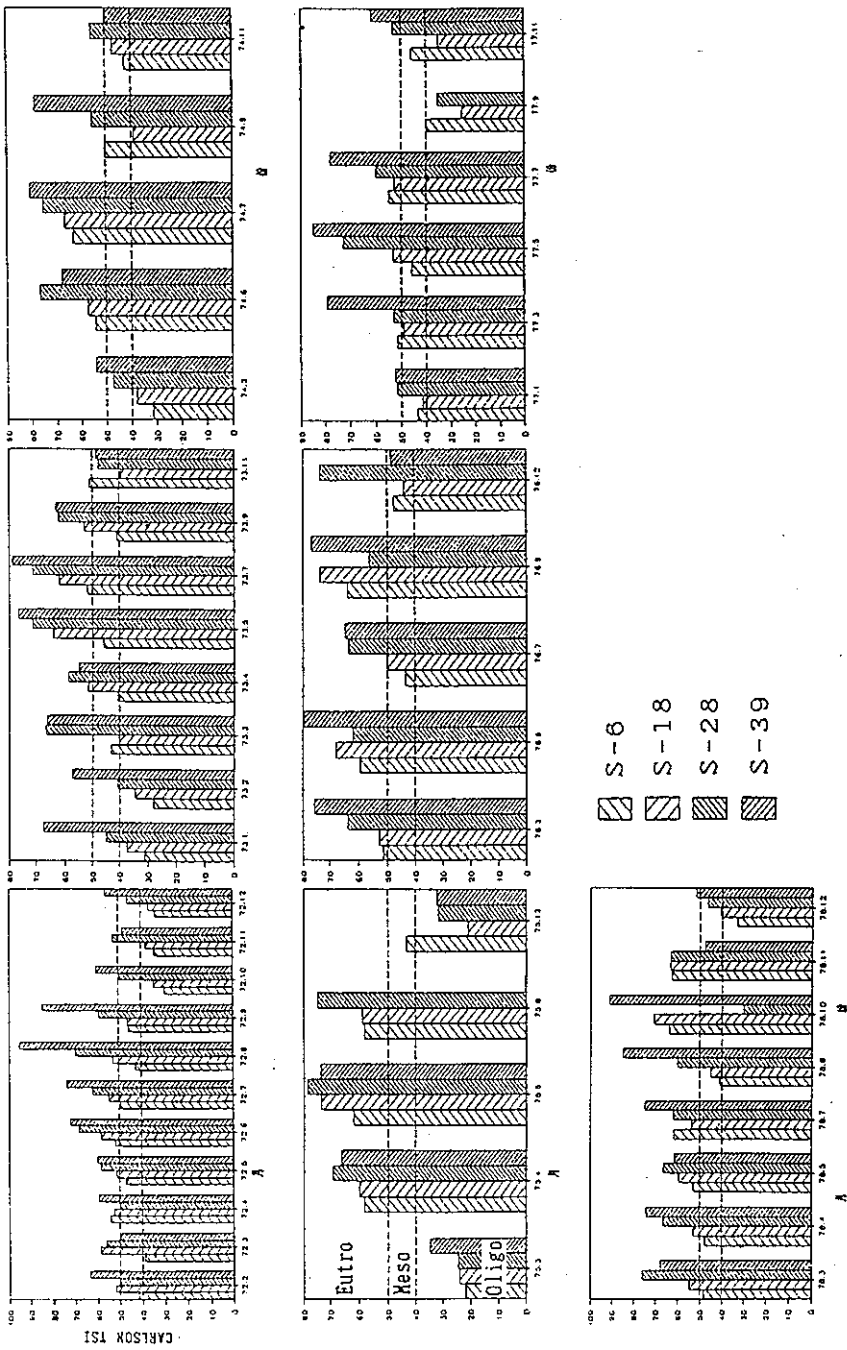


圖 6. 卡爾森指數法評估水庫民國 72 年至 78 年水質等級時空變化圖

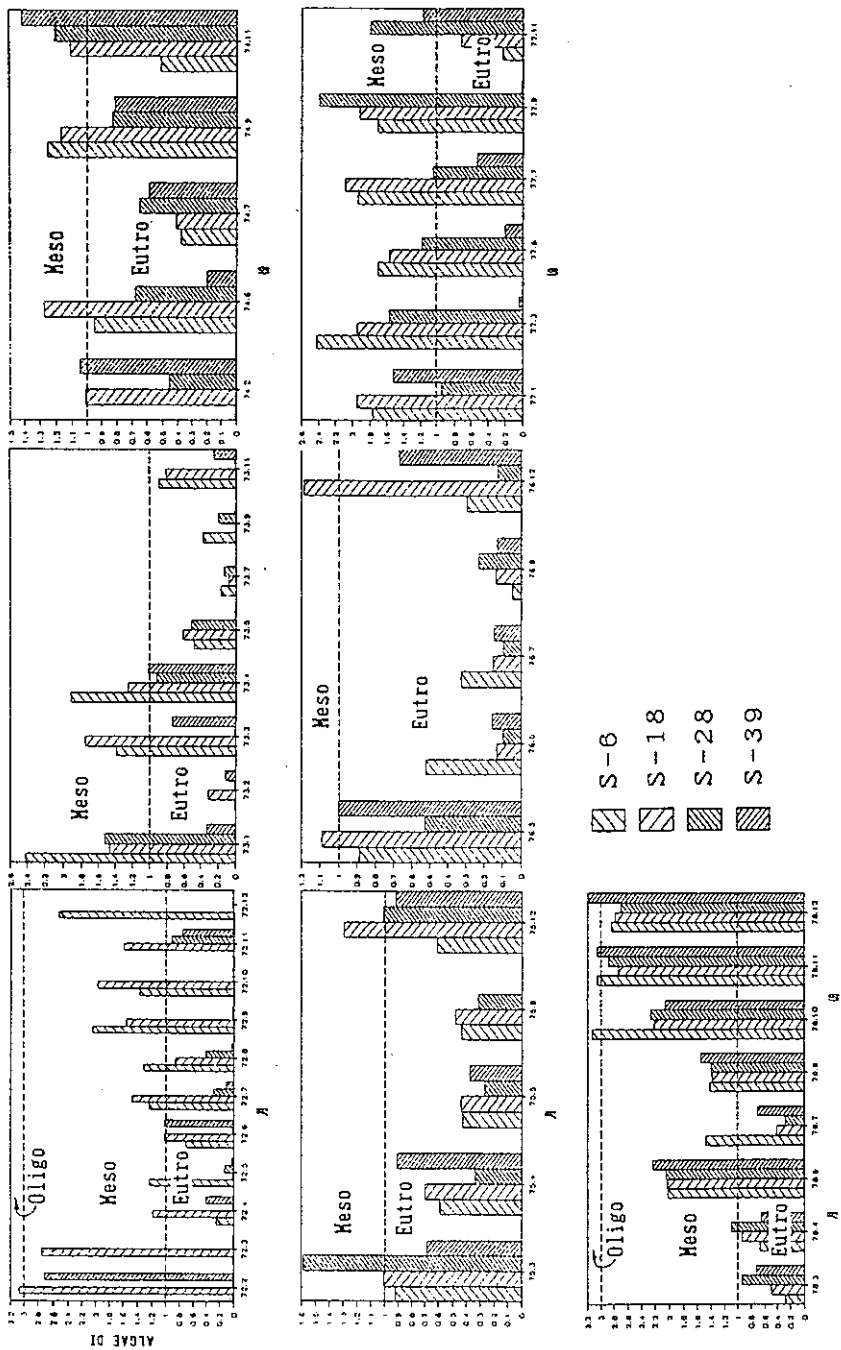


圖 7. 藻類群變異指數法評估水庫民國72年至78年水質等級時空變化圖

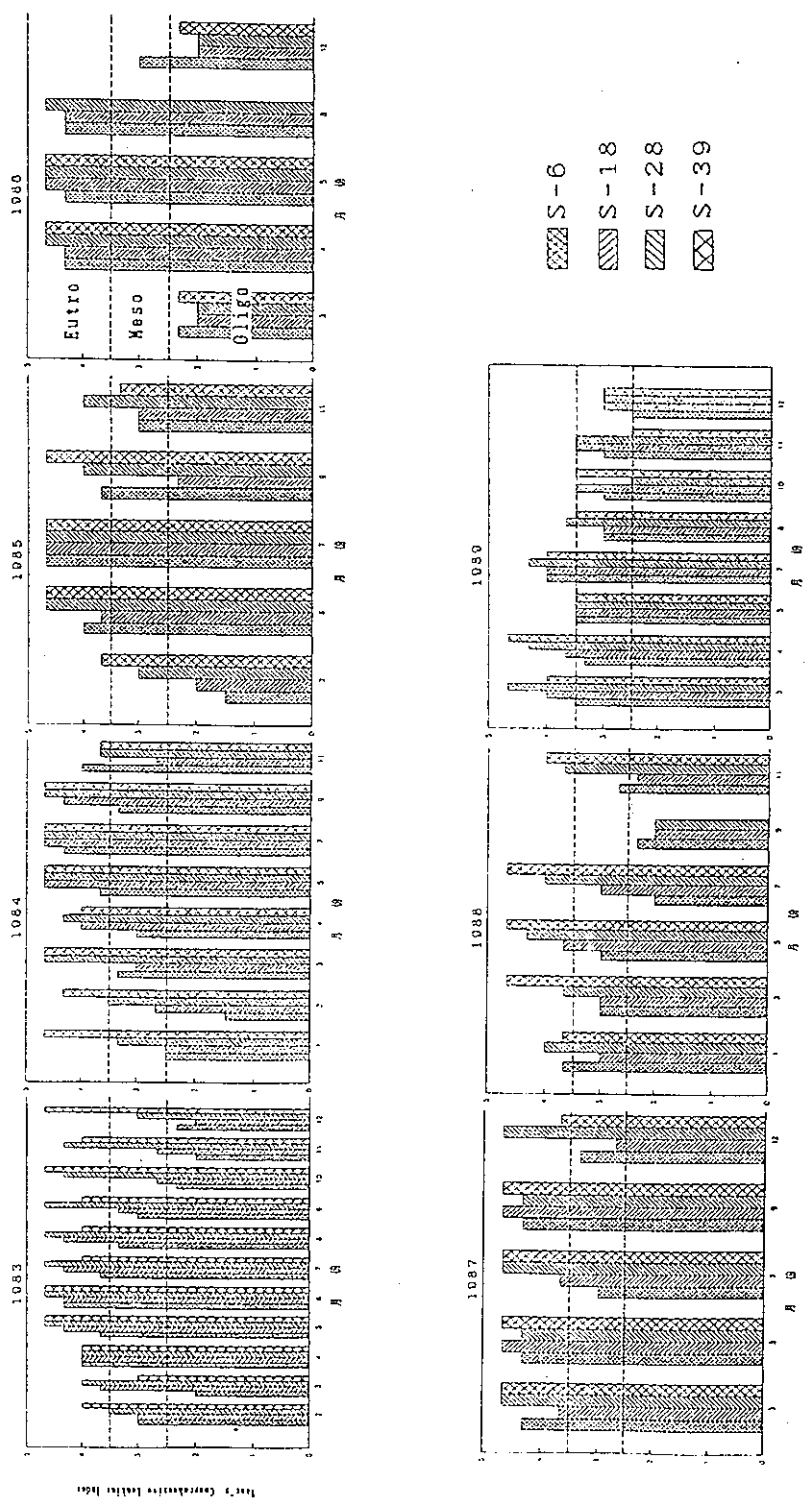


圖8. 王氏綜合評估指數法, 評估水庫民國72年至78年水質等級時空變化圖

圖8 顯示5.7 兩月各断面水質差，皆屬優養等級，4.9兩月上游3断面皆屬優養等級，2.3.11等月各有2 断面屬優養等級。只有第6 断面在2 月水質屬貧營養等級。第6 断面在1.3.4.9 等月及18断面在1.2.3.11等月與28断面1.11等月皆屬中營養等級。

三.民國74年

圖8 顯示6.7 兩月各断面水質皆屬優養等級，9 月時有3 個断面屬優養等級。2 月時下游2 断面及9 月18断面皆屬貧營養等級。11月除28断面屬優養等級外，其餘3 断面皆屬中營養等級。

四.民國75年

圖8 顯示4.5.8 等3 月各断面皆屬優養等級，除12月第6 断面為中營養等級外，3 月、12月其他各断面皆屬貧營養等級。

五.民國76年

圖8 顯示3.5.9 等3 個月各断面水質皆屬優養等級，除7 月之第6 断面及12月下游2 断面為中營養等級，其餘各断面亦屬優養等級。

六.民國77年

圖8 顯示上游断面在1.3.5.7.11等 5 個月皆屬優養等級。9 月 時水質最好，各断面屬貧營養等級。1 及7 月下游兩断面則屬中營養等級。第6 断面在5 及11月亦屬中營養等級。

七.民國78年

圖8 顯示3.5.7 等3 月各断面皆屬優養等級。4.8.10.11 等月份各有2 断面屬優養等級，12月時各断面水質皆屬中營養等級，8.10與11月各有2 断面皆屬中營養等級，貧營養等級則無出現。

肆、迴歸分析結果

一.各種水質評估方法迴歸分析

(一) 單一變數間之迴歸分析

根據單一變數3 種參數相互迴歸分析所得之相關係數(表5) 顯示葉綠素與總磷相關性最高，相關係數達0.817，透明度與葉綠素及總磷相關性很差，相關係數只有0.194 及0.222。

(二) 單一變數法與多變數法及藻類群落變異指數間迴歸分析

根據表5 可看出葉綠素 a 與多變數法之卡爾森指數法相關性較高，相關係數為0.690，但與北卡羅林那州指數法及藻類群落變異指數之相關性較低，相關係數在0.47以下。總磷與卡爾森指數法相關性亦佳，相關係數為0.783，總磷與北卡指數法及藻類群落變異指數法之相關性亦差，特別是與藻類的相關係數只有0.018。透明度與前述三種指數相關性亦不佳、相關係數皆在0.436 以下。

(三) 多變數指數與藻類群落變異指數間之迴歸分析

由於多變數法評估水質較單一變數法客觀，故將其與藻類間之相關性逐年分析，根據表6顯示以理化水質評估之卡爾森指數與北卡羅林那州指數法間相關性很高除民國72及78年較差外，其餘5年相關係數皆在0.95以上。7年之總相關係數則為0.74。至於藻類群落變異指數與北卡指數間關係，則以民國75年最好，相關係數為0.81。其餘6年相關係數則在.36至0.55間。7年之總相關係數為0.47。藻類群落變異指數與卡爾森指數間之相關係數以民國75年之0.83為最佳。民國78年最差，只有0.18。七年之總相關係數為0.34。吳及王(1990)分析翡翠水庫民國75年至78年4年間藻類群落變異指數與卡爾森指數之相關性所得之相關係數較好，為0.641。是否長期穩定相關，仍待長期調查分析。

(四) 王氏綜合評估水質指數與多變數法及藻類群落變異指數相互間之迴歸分析。

表7顯示綜合評估指數與北卡指數及卡爾森指數相關性良好，除民國78年因多數斷面未測透明度，致使相關係數較低外，其餘各年相關係數很高，最高為民國75年WI與NCTSI相關係數為0.964，WI與Carlson TSI相關係數為0.972。至於WI與Algal DI之相關係數雖較NCTSI及Carlson TSI為低，但亦在0.446-0.850之間。最佳相關係數亦在民國75年。

二. 甲藻與水質參數之迴歸分析

由於甲藻在水庫中居優勢，且大量繁殖，造成赤潮現象，因此有必要瞭解其與水質關係之變化。根據表8可看出甲藻數量與水位高低、蓄水量、電導度、硝酸氮、鈣等水質參數相關性很低，相關係數皆在0.6以下，且多數時間皆在0.1左右。至於甲藻與水溫、溶氧PH、總有機氮、磷酸鹽、透明度等參數間之相關性則變異很大，即相關係數有些年高達0.8，又有些年低於0.2，只有甲藻與總磷及葉綠素a之相關性較佳，7年之總相關係數分別為0.76及0.817。由於葉綠素a是甲藻體內光合作用必要器官故兩者相關性必然很高。Wetzel(1983)指出磷是藻類重要營養鹽之一且磷化合物在藻類新陳代謝中扮演重要角色，將別是能量轉換過程，根據總磷與甲藻迴歸分析所得之相關係數0.763，顯示總磷與甲藻數量增殖有密切關係。因此德基水庫甲藻所形之赤潮現象，必然與水庫集水區農業活動所造成之營養鹽流入有密切關係。

伍. 結論與建議

一. 水質評估方法很多，單一變數評估水質由於使用參數太少，且三種單一參數總磷、葉綠素a及透明度各自評估結果並不一致，故以多變數評估水質較理想，由於北卡指數法及卡爾

表7. W 氏綜合評估水質指數 (WI) 與 NC. TSI, Carlson TSI 及 Algal DI 間之相關係數表

評估方法 年份	NC TSI	Carlson TSI	Algal DI
民國 72 年	0.815	0.695	0.583
民國 73 年	0.886	0.928	0.700
民國 74 年	0.921	0.919	0.482
民國 75 年	0.964	0.972	0.805
民國 76 年	0.882	0.859	0.446
民國 77 年	0.953	0.924	0.538
民國 78 年	0.622	0.307	0.615

表8. 甲類與主要水質參數迴歸分析相關係數表

年份 水質參數	72	73	74	75	76	77	78	TOTAL
LEVEL	0.017	0.143	0.555	0.337	0.106	0.162	0.142	—
STORAGE	0.029	0.100	0.551	0.336	0.104	0.163	0.140	—
TEMP	0.265	0.805	0.711	0.738	0.361	0.207	0.321	0.176
DO	0.488	0.423	0.555	0.766	0.541	0.440	0.718	—
PH	0.302	0.239	0.696	0.091	0.496	0.694	0.718	—
COND	0.402	0.068	0.363	0.180	0.046	0.046	0.476	—
NO ₃ N	0.242	0.094	0.478	0.304	0.003	0.313	0.333	—
TON	0.727	0.038	0.662	0.763	0.852	0.899	0.713	0.116
TP	0.851	0.196	0.837	0.962	0.905	0.976	0.731	0.763
PO ₄	0.086	0.047	0.377	0.563	0.383	0.856	0.264	—
SD	0.353	0.309	0.689	0.707	0.556	0.478	0.817	—
CHL-A	0.573	0.454	0.905	0.853	0.920	0.938	0.942	0.817

森指數法等多變數法評估結果與藻類群落變異指數評估結果有時並不一致，但水質優養與理化水質參數及藻類相皆有密切關係，兩者必須同時評估方有意義。作者首創之王氏評估指數法即為結合理化水質與藻類相之一種綜合評估法，其所得之結果較能代表水質優養情形。

二.根據王氏綜合評估指數法評估水質結果發現以年度來說，民國76年及78年水質最差，各月份各斷面皆無貧營養等級出現。民國75年水質出現貧營養等級之斷面較多。故該年水質較其他各年為佳。以季節來說，夏季水質最差，各斷面多屬優養等級，冬季最好，下游斷面會有貧營養等級出現。春秋季次之。以斷面來說，上游斷面水質較差，下游斷面較佳。上游39斷面多屬優養等級，下游第6斷面水質出現中營養及貧營養等級時間較多。

三.王氏綜合評估指數與北卡指數、卡爾森指數及藻類群落變異指數間之迴歸分析結果顯示王氏綜合評估指數與北卡指數及卡爾森指數之相關性較好，相關係數除民國78年稍差外，其餘各年多在0.8以上。與藻類群落變異指數相關性稍差，但亦在0.446至0.805之間。此結果顯示目前台灣在無更理想之評估方法前王氏綜合評估指數不失為一種較佳之水質優養等級評估方法。

四.根據甲藻與主要水質參數迴歸分析所得之相關係數顯示甲藻之數量與營養鹽中之總磷關係密切兩者相關係數為0.763。此外甲藻與葉綠素a之相關性亦很高，相關係數為0.817。

五.由甲藻數量與總磷之迴歸分析證實德基水庫甲藻所形成之赤潮現象，必然與水庫集水區農業活動所造成之營養鹽流入有密切關係。為防止水庫水質日益變化，建議針對營養來源採取防治措施。

陸、參考文獻

- 一.王漢泉. 1987. 赴美研習水庫水質及優養化調查報告. 水資會報告。
- 二.吳俊宗與王怡文. 1990. 水質優養與藻類指標. 藻類與環境研討會論文集45-51pp。
- 三. Carlson, R.E. 1977. A trophic state Index for lakes. *Limnology & Oceanography*. 22:361-362
- 四. Brillouin, L. 1960. *Science and Information theory*. 2nd ed. Academic Press Inc. New York N.Y
- 五. Weiss, C.M.I, D.E. Francisco and P.H Campbell. 1985. *Water Quality Study, B Everett Jordan Lake, N.C. Year II. A report to the Wilmington District, U.S Army Corps of Engineers. Dept of Environmental Science and Engineering, Univ of N.C at Chapel Hill. 140p.p*

- 六.Reckhow,K.H.1979.Quantitative Techniques for the assessment of lake quality
EPA report.EPA - 440/5-79-015. Washington D.C.
- 七.U.S Environmental Protection Agency.1985.Clean lakes Program.a review of the
first decade.EPA 440/5-85-033. Washington D.C
- 八.Wetzel,R.G.1983.Limnology. 2nd ed.Saunders College Publishing. New York.

圖 1. 大甲溪德基水庫採樣斷面位置圖

